

# METHOD FOR CONTROLLING THE WARM-UP PROCESS OF A CATALYTIC CONVERTER SYSTEM

Patent number: DE10112938

Publication date: 2002-10-02

Inventor: POTT EKKEHARD (DE); ZILLMER MICHAEL (DE);  
GOEBEL ULRICH (DE)

Applicant: VOLKSWAGENWERK AG (DE);; OMG AG & CO KG  
(DE)

Classification:

- international: F01N9/00

- european: F02D41/02C4B6; F02P5/15B4

Application number: DE20011012938 20010312

Priority number(s): DE20011012938 20010312

Also published as:



WO02073018 (A1)

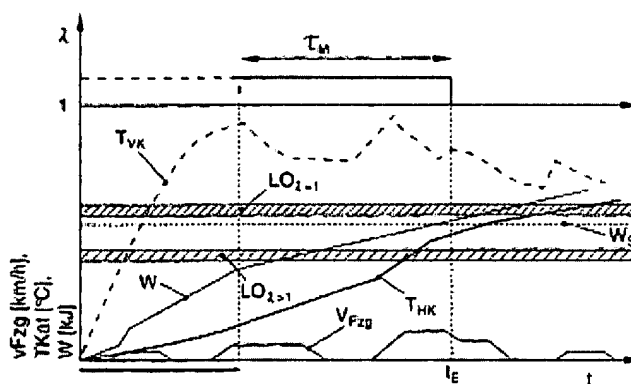
EP1370758 (A1)

Report a data error here

Abstract not available for DE10112938

Abstract of corresponding document: **WO02073018**

The invention relates to a method for controlling a warm-up process of a catalytic converter system (14, 16) located downstream of an internal combustion engine (10). Said system comprises at least one pre-catalytic converter (14) and a main catalytic converter (16) located downstream thereof. According to said method, (a) in a heating phase (tau H), the catalytic converter is heated by increasing an exhaust gas temperature using the motor, exposing the catalytic converter system (14, 16) to a lean exhaust gas atmosphere with a Lambda value > 1, until the temperature (TVK) of the precatalytic converter (14) has reached at least an approximate light-off temperature of Lambda = 1 (LO[lambda]=1), and (b) in a lean phase (tau M), the catalytic converter system (14, 16) is exposed to a lean exhaust gas atmosphere with a Lambda value > 1, until the temperature (THK) of the main catalytic converter (16) has reached at least an approximate light-off temperature of Lambda = 1 (LO[lambda]=1).



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 101 12 938 A 1

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
F 01 N 9/00

21 Aktenzeichen: 101 12 938.6  
22 Anmeldetag: 12. 3. 2001  
43 Offenlegungstag: 2. 10. 2002

DE 101 12 938 A 1

71 Anmelder:  
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE; OMG AG &  
Co. KG, 63457 Hanau, DE  
74 Vertreter:  
Anwaltskanzlei Gulde Hengelhaupt Ziebig &  
Schneider, 10117 Berlin

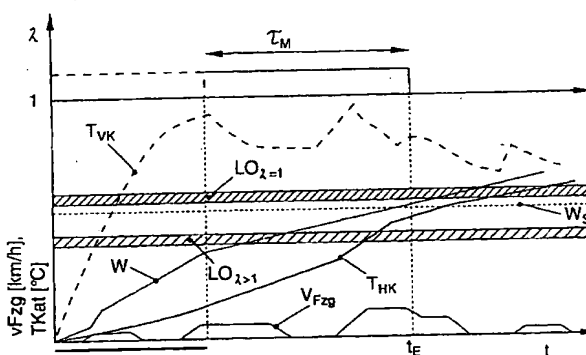
72 Erfinder:  
Pott, Ekkehard, Dr., 38518 Gifhorn, DE; Zillmer,  
Michael, Dr., 38173 Sickinge, DE; Göbel, Ulrich, Dr.,  
65795 Hattersheim, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gem. Paragraph 43 Abs. 1 Satz PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Steuerung eines Warmlaufs eines Katalysatorsystems

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Warmlaufs eines einer Verbrennungskraftmaschine (10) nachgeschalteten Katalysatorsystems (14, 16), mindestens bestehend aus einem Vorkatalysator (14) und einem diesem nachgeschalteten Hauptkatalysator (16), wobei (a) in einer Aufheizphase ( $\tau_H$ ) ein Katalysatorheizen durch Anhebung einer Abgastemperatur mittels motorischer Maßnahmen bei einer Beaufschlagung des Katalysatorsystems (14, 16) mit einer mageren Abgasatmosphäre mit  $\lambda > 1$  durchgeführt wird, bis eine Temperatur ( $T_{VK}$ ) des Vorkatalysators (14) zumindest annähernd eine Anspringtemperatur bei  $\lambda = 1$  ( $LO_{\lambda=1}$ ) erreicht hat, und (b) in einer Mäagerphase ( $\tau_M$ ) eine Beaufschlagung des Katalysatorsystems (14, 16) mit einer mageren Abgasatmosphäre mit  $\lambda > 1$  durchgeführt wird, bis eine Temperatur ( $T_{HK}$ ) des Hauptkatalysators (16) zumindest annähernd die Anspringtemperatur bei  $\lambda = 1$  ( $LO_{\lambda=1}$ ) erreicht hat.



DE 101 12 938 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Warmlaufs eines einer Verbrennungskraftmaschine nachgeschalteten Katalysatorsystems, welches mindestens einen Vorkatalysator und einen diesem nachgeschalteten Hauptkatalysator umfasst.

[0002] Zur Reinigung von Abgasen von Verbrennungskraftmaschinen ist bekannt, Katalysatoren einzusetzen, die eine Konvertierung von Schadstoffen des Abgases in umweltneutrale Verbindungen vornehmen. 3-Wege-Katalysatoren sind in der Lage, gleichzeitig die Oxidation von unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC und Kohlenmonoxid CO sowie die Reduktion von Stickoxiden  $\text{NO}_x$  unter stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnissen mit  $\Lambda = 1$  zu katalysieren. So genannte  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysatoren werden eingesetzt, um insbesondere bei magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschinen die Emission von Stickoxiden  $\text{NO}_x$  bei mageren Luft-Kraftstoff-Verhältnissen mit  $\Lambda > 1$  zu reduzieren.

[0003] Ihre volle Betriebsfähigkeit, bei der die Schadstoffkonvertierung mit einem ausreichenden Wirkungsgrad erfolgt, erreichen Katalysatoren erst, nachdem sie ihre Anspring- oder Light-off-Temperatur angenommen haben. Daher gelangt ein Großteil der nach einem Motorkaltstart erzeugten Schadstoffe unkonvertiert in die Atmosphäre. Um eine Emissionsminderung während der Warmlaufphase zu erzielen, werden kleinvolumige Vorkatalysatoren eingesetzt, die an einer motornahen Position der Abgasanlage angeordnet werden. Diese erreichen wegen ihrer geringen thermischen Masse und ihrer motornahen Lage relativ schnell ihre Anspringtemperatur und überbrücken damit die Zeitspanne, bis auch der weiter stromab angeordnete, großvolumige Hauptkatalysator seine Betriebstemperatur erreicht hat. Um die Aufheizung des Vorkatalysators und damit sein Anspringen zu beschleunigen, ist bei Ottomotoren bekannt, durch Spätverstellung eines Zündwinkels (Spätzündung) einen Motorwirkungsgrad zu verringern und dabei die Abgastemperatur anzuheben. Ferner ist bekannt, eine derartige Katalysatorheizmaßnahme nicht bei einer stöchiometrischen Abgaszusammensetzung mit  $\Lambda = 1$ , sondern bei leicht magerem Abgas mit  $\Lambda > 1$ , üblicherweise bei  $\Lambda = 1,05$ , durchzuführen. Diese Maßnahme trägt dem Umstand Rechnung, dass die Anspringtemperatur für die HC- und CO-Konvertierung aufgrund des Sauerstoffüberschusses im mageren Abgas um etwa 50 bis 100 K niedriger liegt als im stöchiometrischen Abgas. Effektiv setzt daher bei Magerbeaufschlagung die Schadstoffkonvertierung früher ein. Durch die Magerbeaufschlagung wird allerdings ein gewisser  $\text{NO}_x$ -Durchbruch in Kauf genommen, da mit 3-Wege-Katalysatorsystemen nur bei einer exakt stöchiometrischen Abgasatmosphäre eine vollständige  $\text{NO}_x$ -Reduzierung erfolgt und im Falle von  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysatoren diese ihre Arbeitstemperatur bezüglich einer  $\text{NO}_x$ -Speicherung ebenfalls noch nicht erreicht haben.

[0004] In gegenwärtigen Verfahren erfolgt das Katalysatorheizen über Spätzündung und leicht magerer Abgasatmosphäre, beispielsweise im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) für einen Zeitraum von etwa 20 bis 60 s nach Motorstart, ehe die Verbrennungskraftmaschine in den üblichen  $\Lambda = 1$ -Modus umgeschaltet wird. Im Falle schichtladefähiger, magerlauffähiger Ottomotoren wird der magerer Schichtbetrieb üblicherweise nach 150 bis 400 s nach Motorstart im NEFZ zugelassen. In jedem Fall hat der Hauptkatalysator am Ende der Katalysatorheizmaßnahme seine Anspringtemperatur noch nicht erreicht. Zum beschleunigten Aufheizen des Hauptkatalysators wäre wegen seiner großen thermischen Masse und wegen Wärmeverlusten im Abgas-

kanal eine deutlich längere Katalysatorheizdauer, verbunden mit einem entsprechenden Kraftstoffmehrerverbrauch, erforderlich, ohne eine nennenswerte Emissionsminderung zu erzielen. Somit leistet der Vorkatalysator bis zum Anspringen des Hauptkatalysators alleine nahezu die gesamte Konvertierungsleistung des Abgassystems. Bei hohen Motorlasten mit höheren Abgasmassenströmen, insbesondere in Beschleunigungsphasen, wird der Vorkatalysator zumindest teilweise überlaufen, so dass bis zum Anspringen des Hauptkatalysators ein gewisser Schadstoffdurchbruch zu verzeichnen ist.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Steuerung eines Warmlaufs eines Katalysatorsystems zur Verfügung zu stellen, welches gegenüber dem gegenwärtigen Stand der Technik eine stärkere Schadstoffreduzierung erzielt. Das Verfahren sollte insbesondere nicht mit einem erhöhten Mehrverbrauch belastet sein.

[0006] Diese Aufgabe wird durch Verfahren mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche 1 und 2 gelöst. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass

(a) in einer Aufheizphase ein Katalysatorheizen durch Anhebung einer Abgastemperatur mittels motorischer Maßnahmen bei einer Beaufschlagung des Katalysatorsystems mit einer mageren Abgasatmosphäre mit  $\Lambda > 1$  durchgeführt wird, bis eine Temperatur des Vorkatalysators zumindest annähernd eine Anspringtemperatur bei  $\Lambda = 1$  ( $\text{LO}_{\Lambda=1}$ ) erreicht hat, und

(b) in einer unmittelbar anschließenden oder zeitlich abgesetzten Magerphase eine Beaufschlagung des Katalysatorsystems mit einer mageren Abgasatmosphäre mit  $\Lambda > 1$  durchgeführt wird, bis eine Temperatur des Hauptkatalysators zumindest annähernd die Anspringtemperatur bei  $\Lambda = 1$  ( $\text{LO}_{\Lambda=1}$ ) erreicht hat.

[0007] Dabei entspricht die Aufheizphase in ihren wesentlichen Merkmalen, nämlich Anhebung der Abgastemperatur sowie Beaufschlagung mit einer mageren Abgasatmosphäre, derzeit üblichen Verfahren. Die motorischen Maßnahmen zur Anhebung der Abgastemperatur können dabei insbesondere in einer Spätzündung bestehen und/oder in einer Reduzierung einer Abgasrückföhrate gegenüber einem nach Beendigung der Warmlaufphase einzustellenden Betriebsmodus. Erfindungsgemäß folgt dieser Aufheizphase eine Magerphase, in der die magere Abgasatmosphäre aufrecht erhalten wird, bis auch der Hauptkatalysator seine Anspringtemperatur erreicht hat oder sich nahe an dieser befindet. Das erfindungsgemäße Vorgehen nutzt somit die Vorteile einer niedrigeren Anspringtemperatur bezüglich einer HC- und CO-Konvertierung bei magerer Abgasbeaufschlagung gegenüber stöchiometrischer Beaufschlagung auch am Hauptkatalysator. Während eines Zeitfensters zwischen dem Erreichen der Mager-Anspringtemperatur und der  $\Lambda = 1$ -Anspringtemperatur wird auf diese Weise eine signifikante Reduzierung der HC- und CO-Schadstoffemission erzielt.

[0008] Dabei erfolgt während der Aufheiz- und/oder der Magerphase die Beaufschlagung des Katalysatorsystems mit einem leicht mageren  $\Lambda$  von 1,005 bis 1,2. Vorzugsweise beträgt der  $\Lambda$ -Wert 1,01 bis 1,07, insbesondere 1,01 bis 1,03. Im Falle eines  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators als Hauptkatalysator kann es unter bestimmten, noch zu erläuternden Umständen überdies sinnvoll sein, die  $\Lambda$ -vorgabe in der Magerphase auf Werte oberhalb von 1,05, vorzugsweise auf Werte zwischen 1,1 und 1,15, zu bestimmen.

[0009] Die Beendigung der Magerphase und damit des

Warmlaufs, verbunden mit der Umschaltung der Verbrennungskraftmaschine in einen regulären Betriebsmodus, kann auf verschiedene Weise erfolgen. In der einfachsten Ausführung kann für die für das Erreichen der Anspringtemperatur bei  $\lambda = 1$  durch den Hauptkatalysator erforderliche Zeit ein fester Zeitraum nach Motorstart oder nach Beendigung der Aufheizphase vorgegeben werden. Eine alternative Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, einen kumulierten Wärmestromeintrag in das Katalysatorsystem zu modellieren und die Magerphase zu beenden, wenn eine vorgebbare Wärmestromschwelle überschritten wird. Nach einer weiteren Alternative kann die Temperatur des Hauptkatalysators selbst ermittelt werden und die Magerphase bei Überschreiten einer vorgebbaren Temperaturschwelle durch die Hauptkatalysatortemperatur abgebrochen werden. Die Ermittlung der Temperatur des Hauptkatalysators kann entweder mit Hilfe von Temperatursensoren, die vor, im oder nach dem Hauptkatalysator angeordnet sein können, erfolgen oder durch Modellierung anhand von aktuellen Betriebsparametern der Verbrennungskraftmaschine, wobei dies ebenfalls mit Unterstützung durch Temperatursensoren erfolgen kann.

[0010] Unabhängig davon, nach welchem der vorbeschriebenen Verfahren das Erreichen der  $\lambda=1$ -Anspringtemperatur des Hauptkatalysators erkannt wird, ist besonders vorteilhaft vorgesehen, die Magerphase um eine vorgebbare Zeitspanne vor diesem Erreichen zu beenden. Durch die somit erfolgende Verkürzung der Magerphase wird eine durch den Magerbetrieb verursachte  $\text{NO}_x$ -Emission reduziert.

[0011] Eine weitere Verminderung der  $\text{NO}_x$ -Emission kann erreicht werden, indem eine interne oder externe Abgasrückföhrate während der Magerphase angehoben wird. Durch diese Maßnahme wird die Verbrennungstemperatur gesenkt und die  $\text{NO}_x$ -Rohemission erniedrigt. In diesem Zusammenhang kann es zweckmäßig sein, Zündzeitpunkt und Stellung von Nockenwelle und gegebenenfalls einer Ladebewegungsklappe anzupassen, um Momentenschwankungen zu vermindern und insgesamt eine bessere Laufruhe zu gewährleisten.

[0012] Nach einer erfindungsgemäßen Weiterentwicklung des Verfahrens erfolgt zwischen der Aufheizphase und der Magerphase in einer weiteren Phase eine Beaufschlagung des Katalysatorsystems mit einer stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit  $\lambda = 1$  so lange, bis der Hauptkatalysator zumindest annähernd seine Anspringtemperatur bei  $\lambda > 1$  erreicht hat. Hierdurch wird eine weitere Verringerung der  $\text{NO}_x$ -Emission erzielt. Alternativ kann sich diese Phase auch unmittelbar dem Motorstart anschließen und somit die Aufheizphase ersetzen.

[0013] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind Gegenstand der übrigen Unteransprüche.

[0014] Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0015] Fig. 1 schematisch eine Verbrennungskraftmaschine mit nachgeschalteter Abgasanlage;

[0016] Fig. 2 einen zeitlichen Lambdaverlauf und Temperaturverläufe von Vor- und Hauptkatalysator im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) gemäß einem Verfahren zur Warmlaufsteuerung nach dem Stand der Technik;

[0017] Fig. 3 zeitliche Temperatur- und Lambdaverläufe im NEFZ gemäß einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Warmlaufsteuerung;

[0018] Fig. 4 zeitliche Temperatur- und Lambdaverläufe gemäß einer zweiten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0019] Fig. 5 zeitliche Temperatur- und Lambdaverläufe

gemäß einer dritten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0020] Fig. 6 zeitliche Temperatur- und Lambdaverläufe gemäß einer vierten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0021] Fig. 7 zeitliche Temperatur- und Lambdaverläufe gemäß einer fünften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens und

[0022] Fig. 8 zeitliche Temperatur- und Lambdaverläufe gemäß einer sechsten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0023] Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Verbrennungskraftmaschine 10 mit einem nachgeschalteten Abgaskanal 12. Zur Reinigung eines von der Verbrennungskraftmaschine 10 produzierten Abgases beherbergt der Abgaskanal 12 an einer motornahen Position einen kleinvolumigen Vorkatalysator 14 sowie stromab von diesem einen typischerweise in einer Unterbodenposition angeordneten, großvolumigen Hauptkatalysator 16. Beide Katalysatoren 14, 16 können als Oxidations- oder 3-Wege-Katalysatoren ausgestaltet sein. Der Hauptkatalysator 16 kann jedoch auch, insbesondere im Falle einer magerlauffähigen Verbrennungskraftmaschine 10, ein  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysator sein. Eine Steuerung des Betriebsmodus der Verbrennungskraftmaschine 10, insbesondere eines Luft-Kraftstoff-Verhältnisses  $\lambda$ , einer Abgasrückföhrate, eines Zündwinkels und gegebenenfalls eines Einspritzwinkels, erfolgt in Abhängigkeit von Signalen verschiedener im Abgaskanal 12 installierter Sensoren. Diese umfassen eine Lambdasonde 18 zur Regelung des Verbrennungslambdas sowie einen Gassensor 20, der als  $\text{NO}_x$ -Sensor oder ebenfalls als Lambdasonde ausgestaltet sein kann und der Überwachung des Hauptkatalysators 16 dient. Stromauf des Hauptkatalysators 16 ist ein Temperatursensor 22 im Abgaskanal 12 angeordnet und dient der Ermittlung der Temperatur des Hauptkatalysators 16. Diese kann jedoch auch durch anderenorts, beispielsweise im Hauptkatalysator 16, angeordnete Temperatursensoren ermittelt oder rechnerisch modelliert werden. Die Sensorsignale sowie ausgewählte Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine finden Eingang in ein Motorsteuergerät 24, welches die Daten verarbeitet und anhand abgespeicherter Algorithmen und Kennfelder die Steuerung der Verbrennungskraftmaschine 10 vornimmt. Wie bereits eingangs erläutert wurde, erfolgt eine ausreichende Konvertierung von Schadstoffen des Abgases erst, nachdem die Katalysatoren 14, 16 eine katalysatorspezifische Anspringtemperatur erreicht haben.

[0024] Ein dem Stand der Technik entsprechendes herkömmliches Verfahren zur Steuerung des Warmlaufs des Katalysatorsystems 14, 16 stellt Fig. 2 dar. Der Verlauf der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_{FZ}$  entspricht den Vorgaben des Neuen Europäischen Fahrzyklus NEFZ. Beginnend nach einem Motorstart bei einer Temperatur von  $20^\circ\text{C}$  wird zunächst während einer Aufheizphase  $\tau_H$  ein aktives Katalysatorheizen mittels Spätzündung durchgeführt. Entsprechend einer hierdurch erhöhten Abgastemperatur steigt die Temperatur  $T_{VK}$  des Vorkatalysators 14 zunächst sehr schnell an. Sie erreicht zunächst eine Mager-Anspringtemperatur  $LO_{\lambda=1}$ , die typischerweise bei einer Temperatur von 200 bis  $250^\circ\text{C}$  liegt. Eine zweite Anspringtemperatur bei stöchiometrischer Abgasatmosphäre  $LO_{\lambda=1}$  beträgt ungefähr  $300^\circ\text{C}$  und wird folglich erst zu einem etwas späteren Zeitpunkt von der Vorkatalysatortemperatur  $T_{VK}$  erreicht. Um das frühere Erreichen der Mager-Anspringtemperatur  $LO_{\lambda>1}$  zu nutzen, wird das Katalysatorsystem 14, 16 während der Aufheizphase  $\tau_H$  mit einer leicht mageren Abgasatmosphäre, typischerweise mit einem  $\lambda$  von zirka 1,05, beaufschlagt. Die Dauer der aktiven Katalysatorheizung

durch Spätzündung und der Beaufschlagung des Katalysatorsystems 14, 16 mit der leicht mageren Abgasatmosphäre ist dabei so ausgelegt, dass die Temperatur  $T_{VK}$  des Vorkatalysators 14 die Anspringtemperatur bei  $\Lambda = 1$  ( $LO_{\Lambda=1}$ ) erreicht. Wenn anschließend die Verbrennungskraftmaschine 10 auf den stöchiometrischen Betriebsmodus mit  $\Lambda = 1,00$  umgeschaltet wird, hat die Temperatur  $T_{HK}$  des Hauptkatalysators 16 weder die Anspringtemperatur  $LO_{\Lambda=1}$  noch  $LO_{\Lambda=1}$  erreicht. Folglich leistet bis zum Anspringen des Hauptkatalysators 16 der Vorkatalysator 14 die gesamte Konvertierungsleistung. Treten in diesem Zeitfenster hohe Motorlasten, insbesondere bei Beschleunigungsfahrten, und hohe Abgasmassenströme auf, wird der Vorkatalysator 14 teilweise überlaufen, so dass Schadstoffdurchbrüche verzeichnet werden.

[0025] Um diese Schadstoffdurchbrüche während des Warmlaufs des Katalysatorsystems 14, 16 zu reduzieren, ist erfindungsgemäß vorgesehen, im Anschluss an die aktive Aufheizphase  $\tau_H$  eine Magerphase  $\tau_M$  durchzuführen, in der das Katalysatorsystem 14, 16 mit einer leicht mageren Abgasatmosphäre, vorzugsweise mit  $\Lambda = 1,01$  bis  $1,03$ , so lange beaufschlagt wird, bis die Temperatur  $T_{HK}$  des Hauptkatalysators 16 zumindest nahezu die Anspringtemperatur bei  $\Lambda = 1$  ( $LO_{\Lambda=1}$ ) erreicht hat. In der einfachsten Ausführung des Verfahrens, die in Fig. 3 dargestellt ist, wird für die Dauer der Magerphase  $\tau_M$  ein Festwert vorgegeben, so dass nach Ablauf dieser Dauer zum Zeitpunkt  $t_E$  der Warmlauf abgebrochen wird und die Verbrennungskraftmaschine 10 in ihren normalen Betriebsmodus, hier bei  $\Lambda = 1,00$ , umgeschaltet wird. Dabei wird die Dauer der Magerphase  $\tau_M$  derart bemessen, dass bei Vorliegen durchschnittlicher Motorlasten nach Start eine Temperatur  $T_{HK}$  des Hauptkatalysators 16 zumindest nahe der  $\Lambda = 1$ -Anspringtemperatur ( $LO_{\Lambda=1}$ ) erwartet werden kann. Wie an den Temperaturverläufen  $T_{VK}$ ,  $T_{HK}$ , die mit denen aus Fig. 2 gemäß dem Stand der Technik übereinstimmen, erkennbar ist, führt die zusätzliche Magerphase  $\tau_M$  zu keiner signifikant abweichenden Abgastemperatur und somit zu keinem veränderten Aufheizverhalten der Katalysatoren 14, 16. Der Vorteil der erfindungsgemäßen Magerphase  $\tau_M$  ist darin zu sehen, dass in dem Zeitfenster, in dem die Hauptkatalysatortemperatur  $T_{HK}$  bereits die Mager-Anspringtemperatur  $LO_{\Lambda>1}$ , jedoch nicht die Anspringtemperatur unter stöchiometrischen Abgasbedingungen  $LO_{\Lambda=1}$  erreicht hat, bereits eine HC- und CO-Konvertierung am Hauptkatalysator 16 genutzt werden kann. Somit wird in Betriebssituationen, in denen die verhältnismäßig geringe Konvertierungskapazität des Vorkatalysators 14 überlaufen wird, eine deutliche Verringerung der Schadstoffemission erzielt.

[0026] Eine genauere Methode zur Ermittlung des Endes der Magerphase  $\tau_M$ , die tatsächlich vorliegende Betriebsbedingungen während des Warmlaufs berücksichtigt, zeigt Fig. 4. Hier wird auf an sich bekannte Weise ein Wärmestromeintrag  $W$  in Abhängigkeit aktueller Betriebsparameter der Verbrennungskraftmaschine 10, wie Motorlast und Drehzahl, ermittelt. Die Magerphase  $\tau_M$  wird beendet, wenn der kumulierte Wärmestromeintrag  $W$  eine vorgegebene Wärmestromschwelle  $W_S$  überschreitet. Dabei korreliert die Wärmestromschwelle  $W_S$  wiederum mit einer sich zumindest nahe an der Anspringtemperatur  $LO_{\Lambda=1}$  befindenden Temperatur  $T_{HK}$  des Hauptkatalysators 16. Der Vorteil der in Fig. 4 dargestellten Ausführung des Verfahrens besteht in einer flexiblen Anpassung der Dauer der Magerphase  $\tau_M$  an die aktuellen Betriebsbedingungen. Wird das Fahrzeug unmittelbar nach Motorstart im Hochlastbetrieb mit hohen Abgastemperaturen und Abgasmassenströmen eingesetzt, wird ein verhältnismäßig rascher Anstieg des Wärmestromein-

trags  $W$  ermittelt, resultierend in einer verkürzten Dauer der Magerphase  $\tau_M$ . Umgekehrt wird sich bei Betrieb des Fahrzeugs im Niedriglastbereich eine relativ lange Warmlaufphase ergeben.

[0027] Eine weitere, in Fig. 5 dargestellte Methode bestimmt den Abbruch der Magerphase  $\tau_M$  gemäß einer gemessenen oder modellierten Temperatur  $T_{HK}$  des Hauptkatalysators 16. Überschreitet diese eine vorgegebene Temperaturschwelle  $T_S$ , die wiederum zumindest nahe der stöchiometrischen Anspringtemperatur  $LO_{\Lambda=1}$  liegt, wird das Umschalten der Verbrennungskraftmaschine 10 in den  $\Lambda = 1$ -Betrieb ausgelöst. Anstelle der Katalysatortemperaturschwelle  $T_S$  kann auch eine Temperaturschwelle für eine Abgastemperatur vorgegeben werden. Die Modellierung der Katalysatortemperatur  $T_{HK}$  anhand aktueller Betriebsparameter, in die gegebenenfalls auch mit Hilfe von Temperatursensoren gemessene Abgastemperaturen einfließen können, ist bekannt und wird hier nicht näher erläutert. Ähnlich der Bestimmung des Warmlaufendes  $t_E$  anhand des ermittelten Wärmestromeintrags (vgl. Fig. 4) besteht auch hier der Vorteil in der Berücksichtigung tatsächlich vorherrschender Betriebsparameter.

[0028] Eine weitere erfindungsgemäße Verfahrensausgestaltung zeigt Fig. 6. Hier wird die Magerphase  $\tau_M$  nicht unmittelbar nach Beendigung der Aufheizphase  $\tau_H$  eingeleitet, sondern nach einer weiteren Phase  $\tau_S$ , in der das Katalysatorsystem 14, 16 mit einer stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit  $\Lambda = 1,00$  beaufschlagt wird. Die stöchiometrische Phase  $\tau_S$  wird dabei so lange aufrecht erhalten, bis die Hauptkatalysatortemperatur  $T_{HK}$  eine vorgebbare Schwelle erreicht, die annähernd der Mageranspringtemperatur  $LO_{\Lambda>1}$  entspricht oder vorzugsweise etwas unterhalb dieser liegt. Insbesondere entspricht die Schwelle einer Hauptkatalysatortemperatur  $T_{HK}$  von 170 bis 300°C, vorzugsweise von 220 bis 270°C. Das Erreichen dieser Temperatur kann entsprechend der vorstehend ausgeführten Verfahren mittels einer fest vorgegebenen Zeitdauer, des ermittelten Wärmestromeintrags oder der gemessenen oder modellierten Hauptkatalysatortemperatur  $T_{HK}$  erfasst werden. Bei Überschreiten der Schwelle wird in die Magerphase  $\tau_M$  gewechselt, die wiederum gemäß einer der vorstehend beschriebenen Methoden beendet wird. Dieses Verfahren führt insgesamt zu einer Verkürzung der Magerphase  $\tau_M$  und trägt somit dem Umstand Rechnung, dass selbst bei lediglich leicht mageren Abgaswerten Stickoxide in einem stöchiometrischen Überschuss entstehen, die katalytisch nicht abgebaut werden können und somit einen gewissen  $NO_x$ -Durchbruch verursachen. Selbst im Falle eines als  $NO_x$ -Speicherkatalysator ausgestalteten Hauptkatalysators 16 können diese, am Vorkatalysator nicht konvertierten Stickoxide in dieser Phase nicht eingelagert werden, da die hierfür erforderlichen Katalysatortemperaturen oberhalb von 220°C weitgehend noch nicht vorliegen. Da nach Beendigung der Aufheizphase  $\tau_H$  der Hauptkatalysator 16 noch nicht einmal seine Mager-Anspringtemperatur  $LO_{\Lambda>1}$  erreicht hat und er somit in dieser Phase ohnehin nicht unterstützend bei der HC- und CO-Konvertierung wirken kann, wird die Zeit bis zu seinem Anspringen durch die stöchiometrische Abgasbeaufschlagung, in der kein  $O_2$ - und  $NO_x$ -Überschuss vorhanden ist, überbrückt. Gegenüber den vorstehend beschriebenen Verfahrensvarianten kann somit während der Phase  $\tau_S$  die  $NO_x$ -Emission reduziert werden.

[0029] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens wird die Magerphase  $\tau_M$  auf Betriebsphasen mit hohen HC-Rohemissionen der Verbrennungskraftmaschine 10 und/oder hohen Raumgeschwindigkeiten des Abgases beschränkt (Fig. 7). Hierfür kann für die Motorlast und/oder für eine Motordrehzahl eine Schwelle vorgegeben werden,

bei deren Unterschreitung die Magerbeaufschlagung während der Magerphase  $\tau_M$  unterdrückt wird und die Verbrennungskraftmaschine 10 mit einem stöchiometrischen Luft-Kraftstoff-Verhältnis mit  $\lambda = 1$  betrieben wird. Auf diese Weise wird nur dann auf die Unterstützung des Hauptkatalysators 16 bezüglich der HC- und CO-Konvertierung zurückgegriffen, wenn dies betriebspunktabhängig erforderlich ist. Entsprechend muss auch nur in dieser begrenzten Phase ein geringer  $\text{NO}_x$ -Durchbruch in Kauf genommen werden, woraus sich eine weitere Verminderung der  $\text{NO}_x$ -Emission gegenüber der in Fig. 6 dargestellten Ausführung ergibt.

[0030] Eine weitere, in Fig. 8 gezeigte Ausführung des Verfahrens berücksichtigt ein Problem von  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysatoren, das darin besteht, dass bei nur leicht magerem Abgas, etwa bei  $\lambda \leq 1,05$  und unter bestimmten weiteren Umständen eine Konkurrenz von  $\text{NO}_x$ -Einlagerung und Nitratzerfall ohne anschließende  $\text{NO}_x$ -Konvertierung beobachtet wird. Daher kann vorteilhafterweise speziell für  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysatoren vorgesehen sein, abhängig von der Abgaszusammensetzung, von der Temperatur  $T_{HK}$  des  $\text{NO}_x$ -Speicherkatalysators des Abgasmassenstroms und/oder der  $\text{NO}_x$ -Rohemission die Lambdavorgabe in der Magerphase  $\tau_M$  auf Werte oberhalb von 1,05, vorzugsweise auf  $\lambda = 1,1$  bis 1,15, anzuheben. Damit wird aufgrund des hohen Sauerstoffüberschusses der Nitratzerfall ohne anschließende  $\text{NO}_x$ -Konvertierung zumindest weitgehend unterdrückt.

[0031] Zusätzlich kann bei allen beschriebenen Verfahren durch Anhebung der Abgasrückführrate eine weitere Minderung der  $\text{NO}_x$ -Rohemission der Verbrennungskraftmaschine erzielt werden. Dies kann sowohl durch weitere Öffnung eines AGR-Ventils in einer AGR-Leitung (externer AGR) als auch durch Veränderung von Ventilüberschneidungen von Ein- und Auslassventilen der Zylinder (interne AGR) erreicht werden. Vorzugsweise wird die AGR-Rate um einen Faktor 1,1 bis 2,5, optimal um einen Faktor 1,3 bis 1,6, gegenüber üblichen homogenen Applikationen (10 bis 30% AGR-Rate) angehoben.

[0032] Zur Vermeidung von Fahrverhaltensproblemen kann die Anhebung der AGR-Rate von einer Laufruhe beziehungsweise einer Laufunruhe der Verbrennungskraftmaschine abhängig gemacht werden. Dazu wird die AGR-Rate während der Magerphase  $\tau_M$  schrittweise oder stufenlos so lange angehoben, bis eine vorgebbare maximale Soll-AGR-Rate überschritten wird oder bis eine durch Anhebung der AGR-Rate bedingte Zunahme der Laufunruhe eine vorgebbare Schwelle überschreitet. In diesem Fall kann die AGR-Rate zunächst zurückgenommen werden. Anschließend kann erneut eine Anhebung der AGR-Rate erfolgen, um während der Magerphase  $\tau_M$  eine motorindividuelle maximale AGR-Rate fahren zu können. Bei Unterschreiten einer laufunruheabhängigen minimalen AGR-Zunahme kann die Magerbeaufschlagung unterdrückt werden.

[0033] Insgesamt wird durch das erfindungsgemäße Verfahren in einfacher Weise und ohne dass ein Kraftstoffmehrerbrauch in Kauf genommen werden muss, eine Emission von unverbrannten Kohlenwasserstoffen HC und Kohlenmonoxid CO während der Warmlaufphase eines Katalysatorsystems reduziert. Die verschiedenen vorteilhaften Ausführungsbeispiele ermöglichen dabei, eine  $\text{NO}_x$ -Mehremission – abgestimmt auf die vorliegende Betriebssituation – zu minimieren. Das Verfahren lässt sich mit sehr geringem Aufwand in übliche Motorsteuerungen integrieren.

#### BEZUGSZEICHENLISTE

10 Verbrennungskraftmaschine

12 Abgaskanal  
14 Vorkatalysator  
16 Hauptkatalysator  
18 Lambdasonde  
20  $\text{NO}_x$ -Sensor oder Lambdasonde  
22 Temperatursensor  
24 Motorsteuergerät  
 $\lambda$  Luft-Kraftstoff-Verhältnis Lambda  
 $\text{LO}_{\lambda=1}$  Anspringtontemperatur bei Lambda = 1  
 $\text{LO}_{\lambda>1}$  Anspringtontemperatur bei Lambda > 1  
 $t$  Zeit  
 $t_E$  Warmlaufende  
 $T_{Kat}$  Katalysatortemperatur  
 $T_{VK}$  Vorkatalysatortemperatur  
 $T_{HK}$  Hauptkatalysatortemperatur  
 $\tau_H$  Aufheizphase  
 $\tau_M$  Magerphase  
 $\tau_S$  stöchiometrische Phase  
 $V_{Fzg}$  Fahrzeuggeschwindigkeit  
20 W kumulierter Wärmestromeintrag  
 $W_S$  Wärmestromschwelle

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Warmlaufs eines einer Verbrennungskraftmaschine (10) nachgeschalteten Katalysatorsystems (14, 16), mindestens bestehend aus einem Vorkatalysator (14) und einem diesem nachgeschalteten Hauptkatalysator (16), wobei

(a) in einer Aufheizphase ( $\tau_H$ ) ein Katalysatorheizen durch Anhebung einer Abgastemperatur mittels motorischer Maßnahmen bei einer Beaufschlagung des Katalysatorsystems (14, 16) mit einer mageren Abgasatmosphäre mit  $\lambda > 1$  durchgeführt wird, bis eine Temperatur ( $T_{VK}$ ) des Vorkatalysators (14) zumindest annähernd eine Anspringtontemperatur bei  $\lambda = 1$  ( $\text{LO}_{\lambda=1}$ ) erreicht hat, und

(b) in einer Magerphase ( $\tau_M$ ) eine Beaufschlagung des Katalysatorsystems (14, 16) mit einer mageren Abgasatmosphäre mit  $\lambda > 1$  durchgeführt wird, bis eine Temperatur ( $T_{HK}$ ) des Hauptkatalysators (16) zumindest annähernd die Anspringtontemperatur bei  $\lambda = 1$  ( $\text{LO}_{\lambda=1}$ ) erreicht hat.

2. Verfahren zur Steuerung eines Warmlaufs eines einer Verbrennungskraftmaschine (10) nachgeschalteten Katalysatorsystems (14, 16), mindestens bestehend aus einem Vorkatalysator (14) und einem diesem nachgeschalteten Hauptkatalysator (16), wobei

(a) in einer Aufheizphase ( $\tau_H$ ) ein Katalysatorheizen durch Anhebung einer Abgastemperatur mittels motorischer Maßnahmen bei einer Beaufschlagung des Katalysatorsystems (14, 16) mit einer mageren Abgasatmosphäre mit  $\lambda > 1$  durchgeführt wird, bis eine Temperatur ( $T_{VK}$ ) des Vorkatalysators (14) zumindest annähernd eine Anspringtontemperatur bei  $\lambda = 1$  ( $\text{LO}_{\lambda=1}$ ) erreicht hat,

(b) in einer sich dem Motorstart oder der Aufheizphase ( $\tau_H$ ) anschließenden Phase ( $\tau_S$ ) das Katalysatorsystem (14, 16) mit einer stöchiometrischen Abgasatmosphäre mit  $\lambda = 1$  beaufschlagt wird, bis der Hauptkatalysator (16) zumindest annähernd eine Anspringtontemperatur bei  $\lambda > 1$  ( $\text{LO}_{\lambda>1}$ ) erreicht hat, und

(c) in einer Magerphase ( $\tau_M$ ) eine Beaufschlagung des Katalysatorsystems (14, 16) mit einer

mageren Abgasatmosphäre mit  $\Lambda > 1$  durchgeführt wird, bis eine Temperatur ( $T_{HK}$ ) des Hauptkatalysators (16) zumindest annähernd die Anspringtemperatur bei  $\Lambda = 1$  ( $LO_{\Lambda=1}$ ) erreicht hat.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass während der Aufheiz- und/oder der Magerphase ( $\tau_H$ ,  $\tau_M$ ) die Beaufschlagung des Katalysatorsystems (14, 16) mit einem  $\Lambda$  von 1,005 bis 1,2 erfolgt. 5
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass während der Aufheiz- und/oder der Magerphase ( $\tau_H$ ,  $\tau_M$ ) die Beaufschlagung des Katalysatorsystems (14, 16) mit einem  $\Lambda$  von 1,01 bis 1,07, insbesondere von 1,01 bis 1,03, erfolgt. 10
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass für die Beendigung der Magerphase ( $\tau_M$ ) ein fester Zeitraum nach Motorstart oder nach Beendigung der Aufheizphase vorgebar ist. 15
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein kumulierter Wärmestromeintrag (W) in das Katalysatorsystem (14, 16) ermittelt wird und die Beendigung der Magerphase ( $\tau_M$ ) bei Überschreiten einer vorgebbaren Wärmestromschwelle ( $W_S$ ) erfolgt. 20
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperatur ( $T_{HK}$ ) des Hauptkatalysators gemessen und/oder anhand von Betriebsparametern der Verbrennungskraftmaschine (10) modelliert wird und die der Magerphase ( $\tau_M$ ) bei Überschreiten einer vorgebbaren Temperaturschwelle ( $T_S$ ) beendet wird. 25
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Magerphase ( $\tau_M$ ) um eine vorgebbare Zeitspanne vor Erreichen der Anspringtemperatur bei  $\Lambda = 1$  ( $LO_{\Lambda=1}$ ) durch den Hauptkatalysator (16) beendet wird. 30
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die motorischen Maßnahmen zur Anhebung der Abgastemperatur in der Aufheizphase ( $\tau_H$ ) eine Spätzündung und/oder eine Verringerung einer Abgasrückführrate umfassen. 35
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass während der Magerphase ( $\tau_M$ ) die Abgasrückführrate (AGR-Rate) angehoben wird. 40
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass während der Magerphase ( $\tau_M$ ) die AGR-Rate um einen Faktor 1,1 bis 2,5, insbesondere um einen Faktor 1,3 bis 1,6, angehoben wird. 45
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass eine maximale Anhebung der AGR-Rate in Abhängigkeit von einer Laufruhe oder Laufunruhe des Motors erfolgt. 50
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass bei Unterschreiten einer minimalen Schwelle der AGR-Rate während der Magerphase ( $\tau_M$ ) die Magerphase beendet wird. 55
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass bei Unterschreiten einer vorgebbaren Laufruheschwelle beziehungsweise Überschreiten einer vorgebbaren Laufunruheschwelle die Magerphase ( $\tau_M$ ) nicht zugelassen oder beendet wird. 60
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der Magerphase ( $\tau_M$ ) die Beaufschlagung des Katalysatorsystems (14, 16) mit einer mageren Abgasatmosphäre unterdrückt wird, wenn eine Motorlast und/oder eine Motor-

drehzahl eine vorgebbare Schwelle unterschreitet.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hauptkatalysator (16) ein 3-Wege-Katalysator oder ein  $NO_x$ -Speicherkatalysator ist.

17. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Phase ( $\tau_S$ ) beendet wird, wenn der Hauptkatalysator (16) eine Temperatur ( $T_{HK}$ ) von 170 bis 300°C, insbesondere von 220 bis 270°C, erreicht hat.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

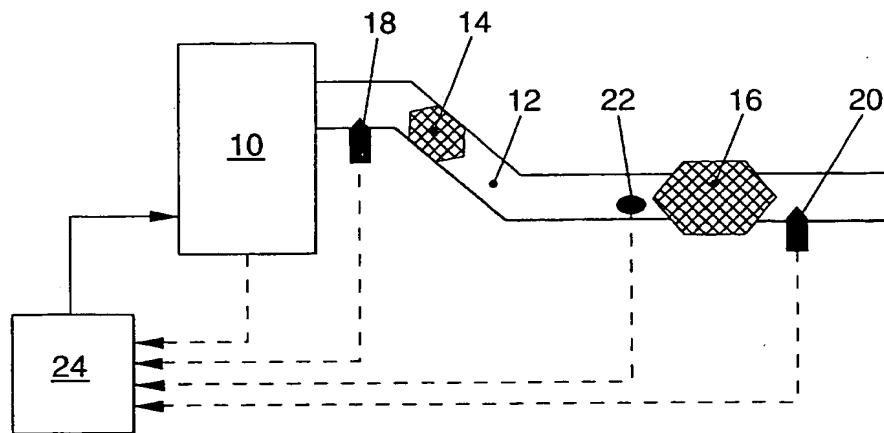


FIG. 1

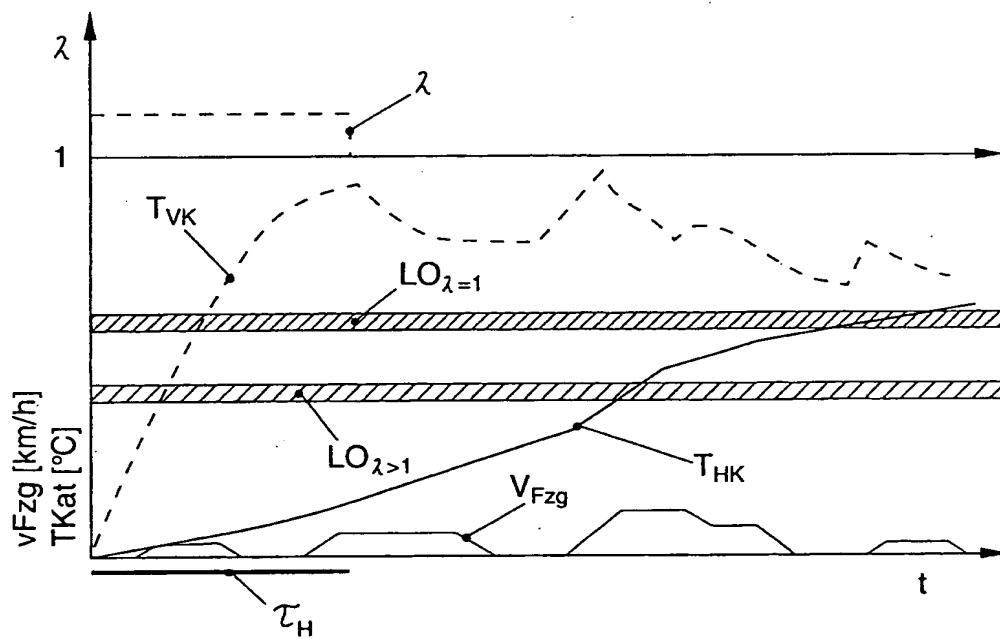


FIG. 2



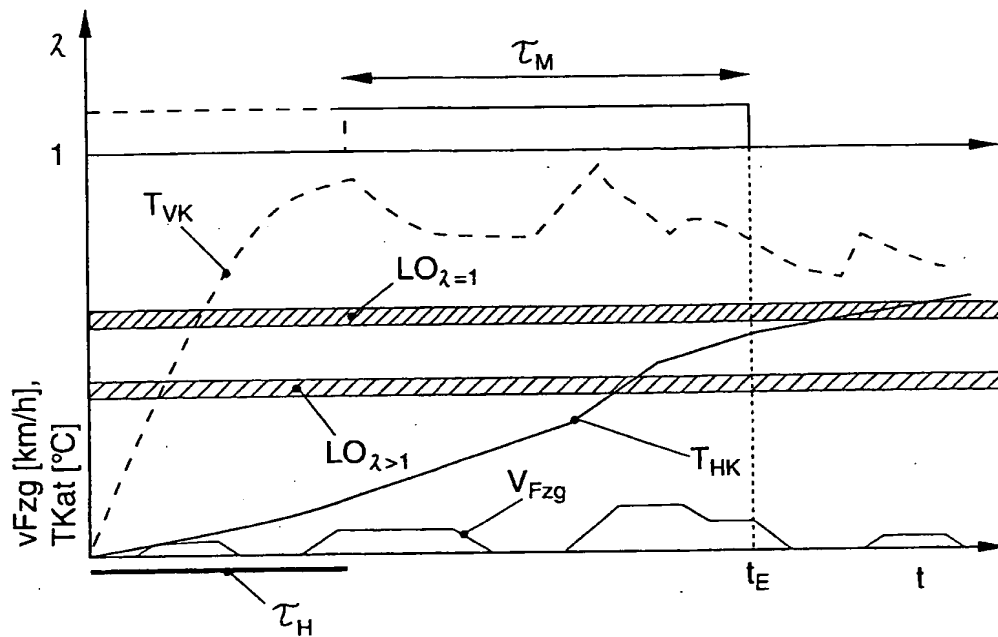


FIG. 3

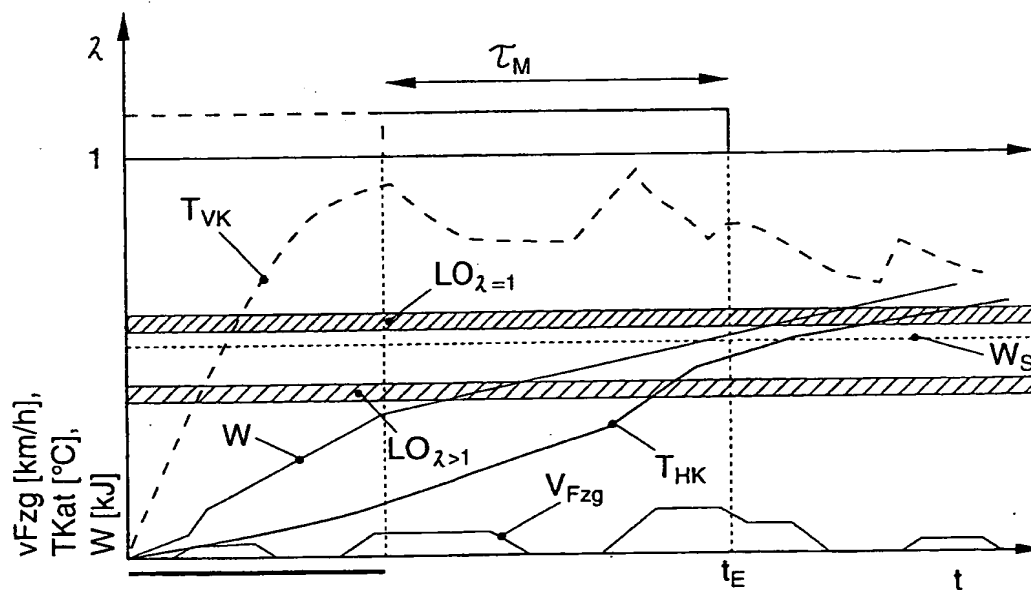


FIG. 4

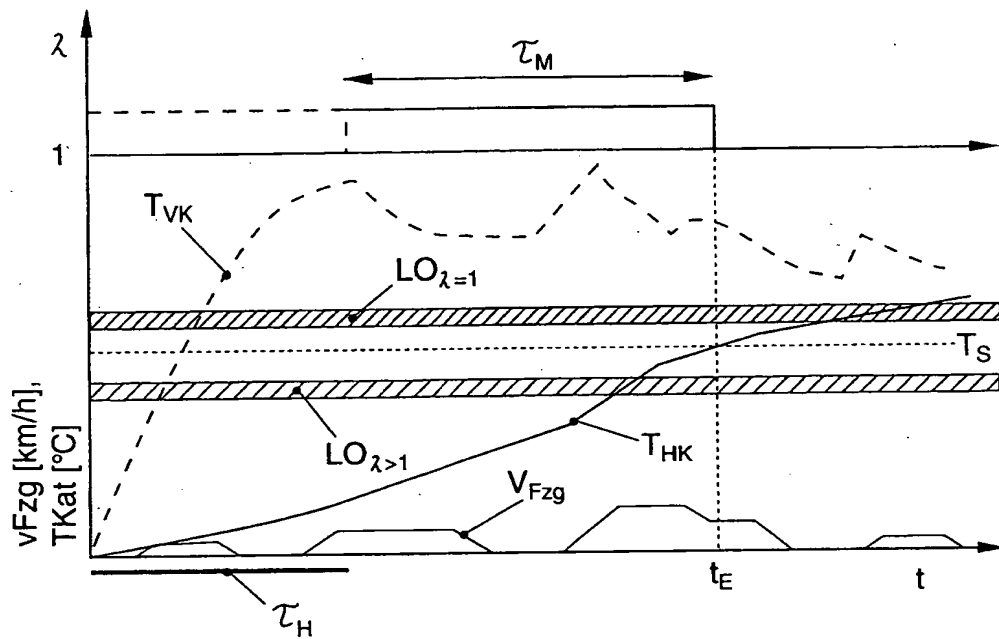


FIG. 5

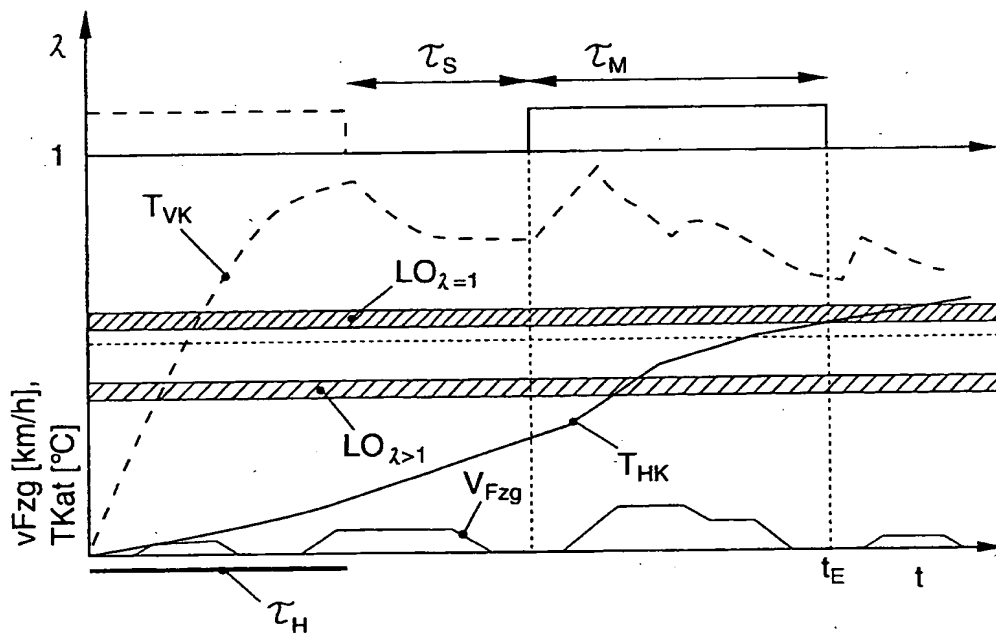


FIG. 6

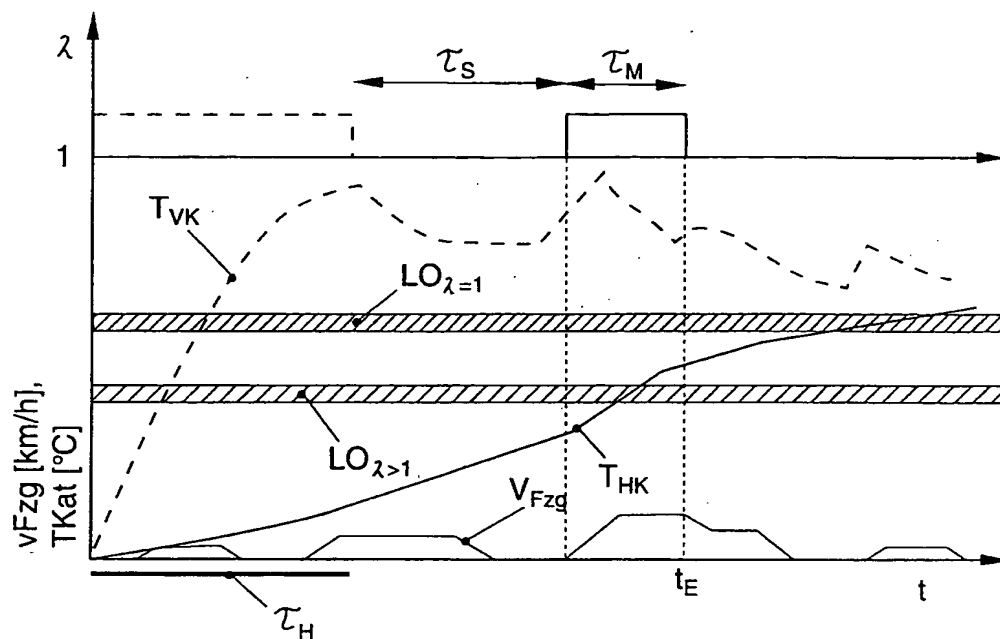


FIG. 7

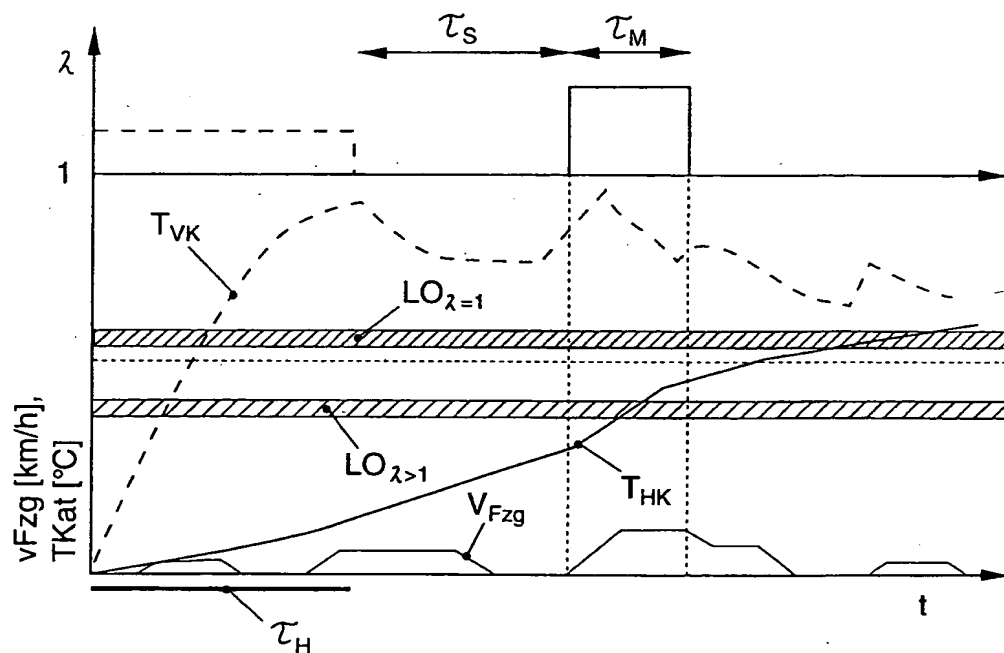


FIG. 8